

# Primjena termografije u vrednovanju sportske odjeće

---

Ćirković, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:130567>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD  
PRIMJENA TERMOGRAFIJE U VREDNOVANJU SPORTSKE ODJEĆE

MATEA ĆIRKOVIĆ

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET  
ZAVOD ZA ODJEVNU TEHNOLOGIJU

ZAVRŠNI RAD  
PRIMJENA TERMOGRAFIJE U VREDNOVANJU SPORTSKE ODJEĆE

IZV. PROF. DR. SC. GORAN ČUBRIĆ

MATEA ČIRKOVIĆ, 0117230666

Zagreb, rujan 2021.

## ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT: Matea Ćirković

NASLOV RADA: Primjena termografije u vrednovanju sportske odjeće

NAZIV STUDIJA: Tekstilna tehnologija i inženjerstvo

NAZIV SMJERA: Odjevno inženjerstvo

VODITELJ RADA: Izv. prof. dr. sc. Goran Ćubrić

ČLANOVI POVJERENSTVA:

1. Izv. prof. dr. sc. Ivana Salopek Ćubrić, predsjednica
2. Izv. prof. dr. sc. Goran Ćubrić, član
3. Doc. dr. sc. Blaženka Brlobašić Šajatović, članica
4. Prof. dr. sc. Tomislav Rolich, zamjenik člana/ice

JEZIK TEKSTA: Hrvatski

RAD SADRŽI:

- 31 stranicu
- 13 Slika
- 2 Tablice
- 13 Literaturnih referenci

INSTITUCIJA U KOJOJ JE IZRAĐEN: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Rad studentice Matee Ćirković financirala je Hrvatska zaklada za znanost projektom HRZZ IP-2020-02-5041 „Tekstilni materijali za povećanu udobnost u sportu“ - TEMPO voditeljice izv. prof. dr. sc. Ivane Salopek Ćubrić.



## SAŽETAK

U radu je opisan postupak ispitivanja močenja i sušenja tekstilnog materijala. Za ispitivanje su se koristili materijali od poliester, te mješavine poliester i elastana. Mjerilo se vrijeme močenja, tj. vrijeme upijanja tekućine u materijal, te vrijeme do potpunog sušenja materijala. Osim vremena, mjerila se površina namočenog dijela, i sukladno tome izračunala se brzina močenja. S obzirom da je teško golim okom vidjeti da li je materijal u potpunosti suh, pogotovo na tamnim tekstilnim materijalima, za precizno određivanje vremena sušenja koristila se termalna kamera. Termalna kamera je pomoću infracrvenog zračenja stvorila sliku na kojoj je bilo moguće vidjeti da li je materijal u potpunosti suh. Ispitivani su uzorci tekstilnog materijala koji se koriste za izradu dresova za nogometaše.

Ključne riječi: sportska odjeća, infracrveno zračenje, termalna kamera

The paper describes the process of testing the ability of textile material to absorb and to dry. Polyester materials and a mixture of polyester and elastan were used in the study. Wetting time, i.e. the time of absorption of the liquid into the material, and the time until the material completely dried, was measured. In addition to the time, the surface of the wet part was measured and accordingly the wetting rate was calculated. Giving that it is difficult to naked eye to see whether is the material completely dry, especially on dark textiles, a thermal camera was used to accurately determine the drying time. The thermal camera used infrared radiation to create an image where it was possible to see if the material is completely dry. The tested materials are sampels of jerseys for football players.

Keywords: sports clothing, infrared radiation, thermal camera

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. RAZRADA TEME.....	2
2.1. ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE.....	2
2.2. INFRACRVENO ZRAČENJE.....	3
2.2.1. POVIJEST INFRACRVENOG ZRAČENJA.....	4
2.3. PRISTUP INFRACRVENOJ TERMOGRAFIJI.....	6
2.4. INFRACRVE NE KAMERE.....	8
2.4.1. DIZAJN KAMERE.....	9
2.5. MJERENJE TEMPERATURE.....	11
2.6. VLAGA U TEKSTILNIM MATERIJALIMA.....	13
2.7. MJERENJE TOPLINSKIH SVOJSTAVA TEKSTILNIH MATERIJALA.....	14
2.8. METODA VERTIKALNOG UPIJANJA TEKUĆINE U TEKSTIL POMOĆU TERMOGRAFSKOG SUSTAVA.....	16
2.9. TEKSTIL U SPORTU.....	17
2.10. TERMOGRAFIJA U TEKSTILNOJ INDUSTRIJI.....	17
2.11. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA U SPORTSKOJ ZNANOSTI.....	18
3. METODIKA RADA.....	20
3.1. VRIJEME MOČENJA UZORAKA I BRZINA ŠIRENJA TEKUĆINE.....	20
3.2. ISPITIVANJA PRIMJENOM TERMOGRAFSKE KAMERE.....	21
3.3. KARAKTERISTIKE UZORAKA.....	23
3.4. REZULTATI I RESPRAVA.....	26
4. ZAKLJUČAK.....	30
5. LITERATURA.....	31

Sl. 1. Spektar elektromagnetskih valova s istaknutim dijelom vidljive svjetlosti [3].....	2
Sl. 2. Frederick William Herschel i prikaz eksperimenta kojime je otkrio infracrveno zračenje [5].....	5
Sl. 3. Pasivni pristup [9].....	7
Sl. 4. Aktivni pristup [9].....	7
Sl. 5. Opći funkcionalni blok dijagram [10].....	10
Sl. 6. Zračenje koje prima infracrvena kamera [4].....	11
Sl. 7. Shematski dijagram procjene okomitog upijanja pomoću termografskog sustava [13].....	16
Sl. 8 Postaja za akviziciju [6].....	19
Sl. 9. Ispitivanje materijala termalnom kamerom.....	21

Sl. 10. Ispitivanje materijala termalnom kamerom .....	22
Sl. 11. Prikaz termalne kamere FLIR E6.....	22
Sl. 12. Prikaz dijelova termalne kamere FLIR E6.....	23
Sl. 13. Uzorci ispitivanih materijala .....	25
Tab.1. Karakteristike ispitivanih uzoraka.....	25
Tab.2. Rezultati ispitivanja.....	27

## 1. UVOD

Odijevanje je temeljna ljudska potreba, od davnina ljudi su izrađivali odjeću, te je prilagođavali svojim potrebama. Ona štiti tijelo od raznih vanjskih utjecaja poput vjetra, kiše, sunca, itd. Osim funkcionalnih namjera, ima estetičku namjenu, ljudi se osjećaju bolje ako su u lijepoj odjeći. No svakako se odjeća može podijeliti u više skupina, neke od njih bi bile: zaštitna odjeća, radna odjeća, uniforme, klasična odjeća za svaki dan, sportska odjeća, odjeća posebnih namjena. Bez obzira na namjenu, svaki odjevni predmet mora zadovoljiti određene zahtjeve poput čvrstoće, elastičnosti, otpornosti na razne utjecaje, kao i pristalost i ugodnost pri nošenju.<sup>[1]</sup>

Kod sportske odjeće udobnost je veoma bitna, s obzirom da je u sportu potrebna nesmetana pokretljivost, odjeća mora biti prilagođena tijelu. Sportska odjeća se može podijeliti na mušku, žensku, dječju mušku i dječju žensku, no sve imaju zajedničke zahtjeve za udobnost, zaštitu i zdravlje pri nošenju.<sup>[2]</sup>

U ovom radu pozornost je usmjerena na sportsku odjeću za nogometaše, nogometaši budu na terenu 45 minuta u komadu i za njih je bitno da odjeća koju nose bude udobna. S obzirom da puno trče puno se i znoje, znači odjeća bi trebala biti prozračna. U nastavku je prikazano da li je poliester dobar materijal za izradu odjeće za nogometaše.



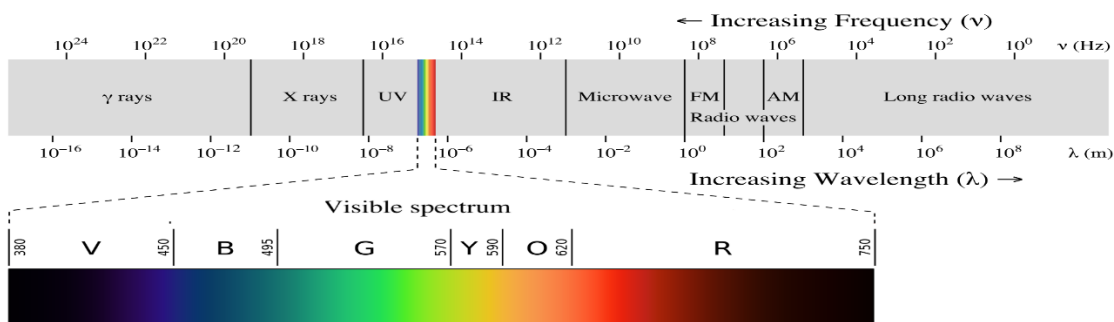
## 2. RAZRADA TEME

### 2.1. ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE

Svi objekti s površinskom temperaturom iznad apsolutne nule emitiraju elektromagnetsko zračenje. To zračenje se može karakterizirati s dvije značajke; valna duljina ( $\lambda$ ) i intenzitet ( $Q$ ). Obje mjere su povezane s relativno jednostavnim fizičkim zakonima o površinskoj temperaturi objekta, stoga je moguće koristiti intenzitet i valnu duljinu zračenja koju objekt emitira za mjerenje njegove površinske temperature, bez potrebe za fizičkim kontaktom. Objekti na određenim temperaturama emitiraju zračenje u rasponu valnih duljina. Intenzitet zračenja koje emitira objekt u funkciji valne duljine i temperature površine može se opisati s:

$$I'(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}, \text{ tada je vršna točka } hc = 4,965114231 \lambda kT, \text{ a ona se obično izražava}$$

Wienovim zakonom pomaka. Valna duljina pri kojoj je maksimalni intenzitet zračenja ovisi o površinskoj temperaturi: što je temperatura viša to je kraća valna duljina na kojoj se emitira većina zračenja. Taj odnos opisuje Weins-ov zakon o distanciranju:  $\lambda_{max} = 2,9/T$ ; gdje je  $\lambda_{max}$  najveća valna duljina emisije (mm) a T je površinska temperatura (K). Sunce naprimjer ima površinsku temperaturu od 5800K, stoga najviša valna duljina zračenja iznosi oko 0,0005mm (=500nm). Ljudski vidni sustav je najosjetljiviji upravo na valnoj duljini zračenja sunca, iako ljudsko oko može prepoznati raspon od 400 do 700nm. Taj raspon se zove vidljivi spektar zračenja. Objekti na Zemljinoj površini su znatno hladniji od površine sunca, to ima dvije posljedice: ukupna količina zračenja koje emitiramo je znatno manja i najviše valne duljine koje emitiramo su dulje.[3]



Sl. 1. Spektar elektromagnetskih valova s istaknutim dijelom vidljive svjetlosti [3]

## 2.2. INFRACRVENO ZRAČENJE

Postoji znanost infracrvena termografija (IRT) posvećena obradi podataka toplinske energije izmjerene beskontaktnim uređajima. Temelji se na infracrvenom zračenju koje je oblik elektromagnetskog zračenja s većih valnim duljinama od vidljive svjetlosti. Ljudsko oko ne može vidjeti ovu vrstu zračenja stoga su potrebni infracrveni mjerni uređaji za dobivanje i obradu informacija. Infracrveni mjerni uređaji mjere infracrveno zračenje koje emitira objekt i pretvara ga u elektronički signal. Najosnovniji infracrveni uređaj je pirometar koji proizvodi jedan izlaz pomoću jednog senzora. Većina naprednih uređaja uključuje niz senzora za prikaz detaljne infracrvene slike scene. Razlika između vidljive slike i infracrvene slike je u tome što je vidljiva slika prikaz reflektiranog svjetla na sceni, dok je na infracrvenoj slici scena izvorna i može se promatrati infracrvenom kamerom bez svjetla. Slike snimljene infracrvenom kamerom se pretvaraju u vidljive slike pomoću dodavanja boja za svaku razinu infracrvene energije. Rezultat je slika „lažne“ boje koja se naziva termogram.<sup>[4]</sup>

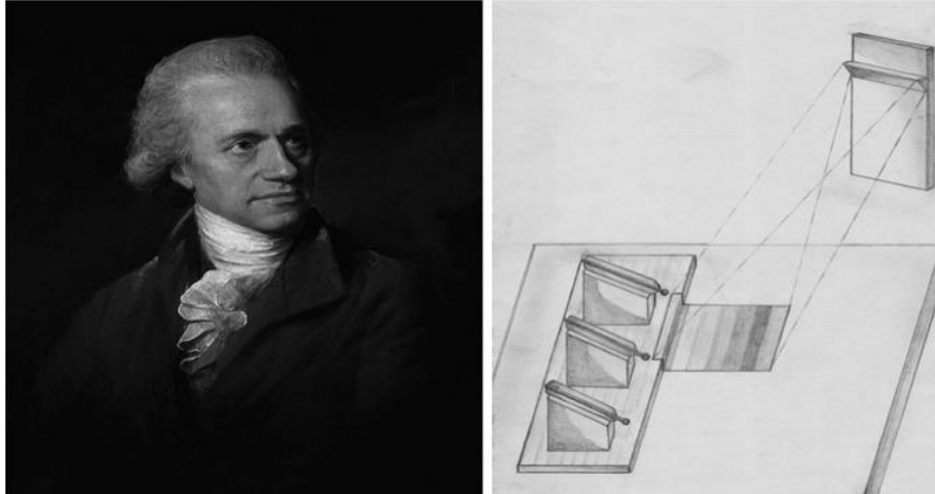
IRT ima mnoge prednosti u odnosu na druge tehnologije, općenito glavne prednosti su:

- IRT je beskontaktna tehnologija, upotrebljavani uređaji nisu u dodiru s izvorom topline. Na taj način temperatura izrazito vrućih predmeta ili opasnih proizvoda poput kiselina, se može sigurno izmjeriti bez opasnosti.
- IRT pruža dvodimenzionalne toplinske slike koje omogućuju usporedbu određenog dijela s njegovom okolinom
- IRT je u stvarnom vremenu što omogućuje ne samo brzo skeniranje nepomičnih meta, već skeniranje brzopomičnih meta, kao i mete s brzomijenjajućim toplinskim obrascima.
- IRT nema štetnih učinaka na zračenje, poput rendenskog zračenja. Dakle pogodan je za dugotrajnu uporabu.
- IRT je invazivna tehnika, dakle, ni na koji način ne ometa cilj, niti utječe na njega.

[4]

### 2.2.1. POVIJEST INFRACRVENOG ZRAČENJA

Infracrveno zračenje otkrio je englesko-njemački astronom Sir Frederick William Herschel 1800. godine, zanimljivost kod Herschela je to da osim što je bio astronom bio je i profesionalni glazbenik i ravnatelj orkestra. Neka od otkrića koja je napravio polju astronomije su opažanje planeta Uran 1781. godine, te otkriće, 1783. godine, da Sunce nije statično kao što se oduvijek vjerovalo. Otkrio je da se Sunce miče te sa sobom vuče ostale planete Sunčevog sustava. Što se tiče njegovog otkrića infracrvenog zračenja, primijetio je da količina prenesene topline ovisi o boji, zbog toga je počeo proučavati koliko topline prolazi kroz različite boje, promatrajući filtere za Sunce. Smatrao je da same boje mogu filtrirati različite količine topline, pa je smislio originalni eksperiment kako bi provjerio svoju hipotezu. Usmjerio je Sunčevu svjetlost kroz staklenu prizmu kako bi stvorio vidljivi spektar boja (duga, podjela svjetlosti u različitim bojama). Postavio je tri živina termometra u spektar dobiven prizmom, kako bi izmjerio toplinu koju svaka boja emitira (Sl. 2.). Koristio je termometre sa zatamnjenim žaruljama kako bi bolje apsorbirale toplinu, za svaku boju je postavio jednu žarulju na vidljivi spektar boje, dok su druge dvije bile izvan vidljivog spektra kao kontrolni uzorci. Otkrio je da se toplina povećava od ljubičaste prema crvenoj boji spektra. Također je primijetio da pored spektra crvene boje kada ne bi bilo svijetla temperatura bi bila viša. Ovaj eksperiment je bio veoma važan jer je prvi puta dokazano da postoje vrste energije koje nisu vidljive ljudskim očima. Nazvao ih je „kalorične zrake“ (eng. „Caloric Rays“), vrlo popularan izraz koji je tijekom 19. stoljeća dobio moderni naziv „infracrveno zračenje“.[5]



Sl. 2. Frederick William Herschel i prikaz eksperimenta kojime je otkrio infracrveno zračenje [5]

Nakon smrti Herschela, njegov sin John Frederick William Herschel, ponovio je očeve eksperimente te izradio sliku pomoću Sunčevog zračenja. Ova slika je dobivena fokusiranjem Sunčevog zračenja na suspenziju čestica ugljika u alkoholu, uz pomoć leće. Ta metoda poznata je kao evaporografija, dok se slika koju je dobio naziva „termogram“ (eng. „thermogram“), pojam koji se i danas koristi u tehnici termografije.

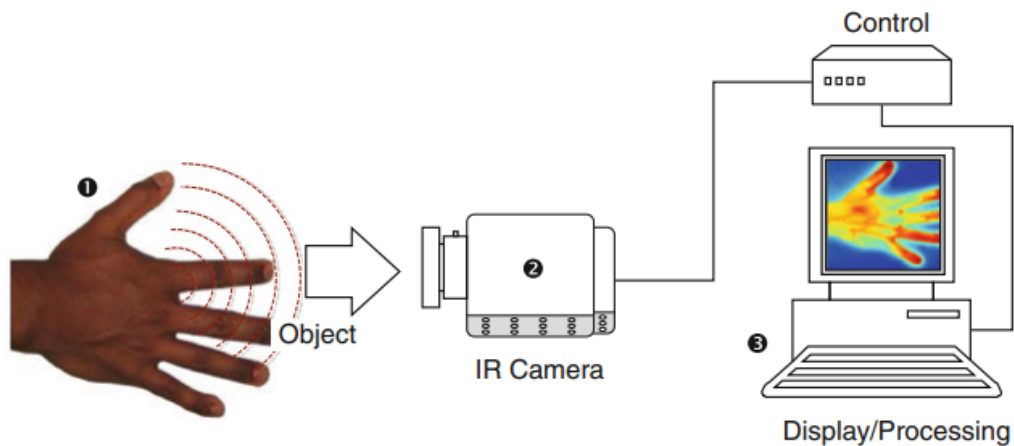
Samuel Pierpont Langley bio je izumitelj bolometra, to je uređaj koji mjeri elektromagnetsko zračenje povećanjem otpora električnog vodiča. Langley-ov bolometer pratio je kontinuirani razvojni proces tokom 20 godina, povećavajući svoju vrijednost do 400 puta od prvog prototipa. Njegov posljednji bolometer mogao je očitati toplinu krave s udaljenosti od 400 metara.

Nakon razvoja bolometra jednim od najvažnijih koraka smatra se razvoj infracrvenih fotonskih detektora tijekom 20. stoljeća. Ovi detektori su razvijeni za vrijeme 2. svjetskog rata za upotrebu snajperistima kako bi se omogućile značajke poput rudimentalnog noćnog vida. Ti senzori su uključivali pretvaranje infracrvenog zračenja u vidljivu svjetlost zbog uspjeha hvatanja elektrona iz blisko infracrvenih katoda pomoću vidljivih fosfora. Istodobno je izrađen još jedan infracrveni detektor od indij antimonida koji je bio postavljen u podnožje Dewarove posude kako bi se omogućilo hlađenje tekućim dušikom. Njegovo nedostatak je bio to da je konstantno zahtijevao opskrbu tekućim dušikom, stoga nije bio pogodan za bojišta, no našao je namjenu u medicini.[5]

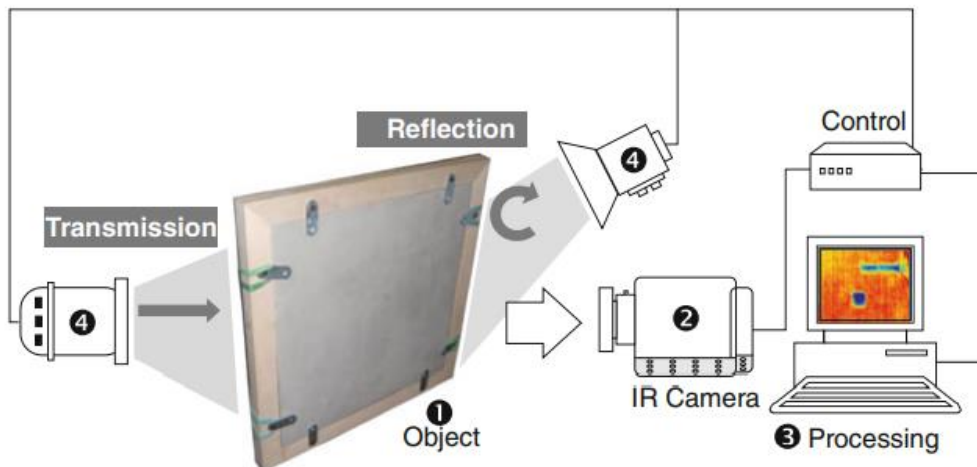
### 2.3. PRISTUP INFRACRVENOJ TERMOGRAFIJI

Infracrvena termografija može se podijeliti na dva pristupa: pasivni, u kojem su materijali i strukture prirodni na drugačijim temperaturama od okoline te aktivni, za koju je potreban vanjski podražaj za izazivanje termalnog kontrasta. Eksperimentalna konfiguracija pasivne infracrvene termografije prikazana je na slici 3. Kao što se može vidjeti iz ove slike, objekt ili sustav (1) koji ima izrazit termalni kontrast u odnosu na okoliš može se pratiti infracrvenom kamerom (2). Upravljačka jedinica i računalni sustav (3) mogu se koristiti za prikaz i obradu slika ako je potrebno. Pasivni pristup često je kvalitativan, poput dijagnoze prisutnosti određene abnormalnosti ili žarišta u odnosu na neposrednu okolinu. Tipične primjene su nadzor električnih i elektroničkih komponenti ili otkrivanje problema s vlagom i izolacijom u zgradama. Ipak, postoje i zanimljive nove pasivne termografske i potencijalno kvantitativne primjene, uključujući inspekciju građevina niskogradnje koje koriste cikluse solarnog opterećenja, otkrivanje prodora vode u konstrukcije zrakoplova nakon slijetanja, automatizirane ljude koji provjeravaju prepoznavanje obmanjujućeg ponašanja. Aktivna termografija ima veliki broj primjena u NDT-u budući da se može koristiti gotovo bilo koji oblik energije, pod uvjetom da su termofizička svojstva za neispravna i neoštećena područja dovoljno različita da proizvedu mjerljivi toplinski kontrast. Štoviše, budući da se vrijeme primjene potrebnog vanjskog podražaja može precizno kontrolirati, moguća je kvantitativna karakterizacija. Eksperimentalna konfiguracija za aktivnu infracrvenu termografiju slična je pasivnom pristupu, kao što se može vidjeti na slici 4. uz razliku što je izvor energije (4) potreban za stvaranje toplinskog kontrasta u objektu ili sustavu (1). Kako je shematizirano na slici 10.2, izvor energije može se nalaziti na istoj strani kamere (2), odnosno u refleksiji ili na suprotnoj strani kamere odnosno u prijenosu. Za sinkronizaciju izvora energije sa sustavom akvizicije potrebna je upravljačka jedinica, a računalni sustav (3) može se koristiti za prikaz i/ili obradu slika. U slučaju aktivne termografije, obrada signala često je obavezna za poboljšanje kontrasta i za kvantifikaciju. Općenito, refleksna konfiguracija je najprikladnija za otkrivanje nedostataka koji se nalaze blizu zagrijane površine, dok konfiguracija prijenosa omogućuje otkrivanje nedostataka blizu stražnje površine zbog učinka širenja toplinske fronte. Očigledno, prijenos nije uvijek lak ili moguć za izvođenje

no ipak se mogu pronaći neke zanimljive aplikacije. Na primjer, kada je dio šuplji, može biti od interesa koristiti unutarnju stimulaciju s protokom tekućine (vode) ili plina (zraka). U ovoj konfiguraciji, promjena temperature protoka (vruće prema hladno ili obrnuto) omogućuje otkrivanje abnormalnih varijacija debljine stijenke ili blokiranja prolaza zbog odgođenog dolaska toplinske smetnje. Međutim, treba napomenuti da se dubina kvara ne može procijeniti u načinu prijenosa s obzirom na to da toplinska fronta prelazi istu udaljenost bez obzira na to je li kvar prisutan ili ne te bez obzira na njegovu dubinu.[9]



Sl. 3. Pasivni pristup [9]



Sl. 4. Aktivni pristup [9]

## 2.4. INFRACRVENE KAMERE

Digitalizacija započinje senzorom ili detektorom koji infracrveno zračenje pretvara u elektronički signal. Detektor daje napon proporcionalan primljenom zračenju. Najčešći detektori se mogu klasificirati u dvije glavne kategorije : ne hladjeni mikrobolometrijski detektori i rashlađeni detektori koji se koriste u kamerama visoke osjetljivosti. Ovi detektori se temelje na različitim tehnologijama, kao što su InSb, InGaAs, PtSi, HgCdTe i slojeviti GaAs/AlGaAs za kvantne infracrvene fotonske detektore.

Postoje dvije vrste infracrvenih kamera: kamere s jednim senzorom i kamere s nizom žarišnih ravnina (FPA).

Kako bi se dobile dvodimenzionalna mjerenja, kamere s jednim senzorom koriste rotirajuće ogledalo. Senzor mjeri zračenu energiju preko površine objekta koja se reflektira na zrcalu. Ovo zrcalo se okreće, dopuštajući mjerenje zračenja po vodoravnoj liniji ili linijsko skeniranje. Tako se na svakom koraku provodi mjerenje duž linearnog ruba nad objektom, što rezultira linijskim skeniranjem. Ponovljeno mjerenje linijskim skeniranjem i kretanje objekta naprijed duž kolosijeka omogućuju stjecanje temperaturno diskretnih vrijednosti po cijeloj površini objekta. Drugi pristup je korištenje niza detektora koji se naziva niz žarišnih ravnina. Svaki detektor daje informacije o zračenju u jednom trenutku. Infracrvena slika može se opisati kao funkcija  $f(x, y)$ . Vrijednost amplitude  $f$  na prostornim koordinatama  $(x, y)$  je skalarna pozitivna vrijednost, koja odgovara količini energije koja zrači iz područja ravnine. Funkcija  $f$  kontinuirana je u prostoru i amplitudi. Stoga, kako bi se ova funkcija pretvorila u digitalni format, mora se uzorkovati u prostoru i amplitudi. Digitalizacija prostora slike naziva se uzorkovanje, dok se digitalizacija amplitude naziva kvantizacijom. Uzorkovanje je definirano rezolucijom infracrvene kamere, odnosno brojem detektora FPA. Rezolucija opisuje količinu informacija koju kamera može prikupiti, a na nju ukazuju dva parametra:  $M$  i  $N$ , obično oblika  $M \times N$ , broj redaka prema broju stupaca. Uobičajene vrijednosti se kreću u rasponu  $120 \times 140 - 1280 \times 1024$ . Kvantizacija je definirana brojem bitova koji se koriste za predstavljanje diskretne vrijednosti izmjerenog zračenja. Kako bi se proveo proces kvantizacije, potrebno je definirati skup razina koje signal može podnijeti. Raspon signala tada se dijeli na taj broj razina, a kontinuirana vrijednost dodjeljuje se razini na kojoj se nalazi. Tipična vrijednost

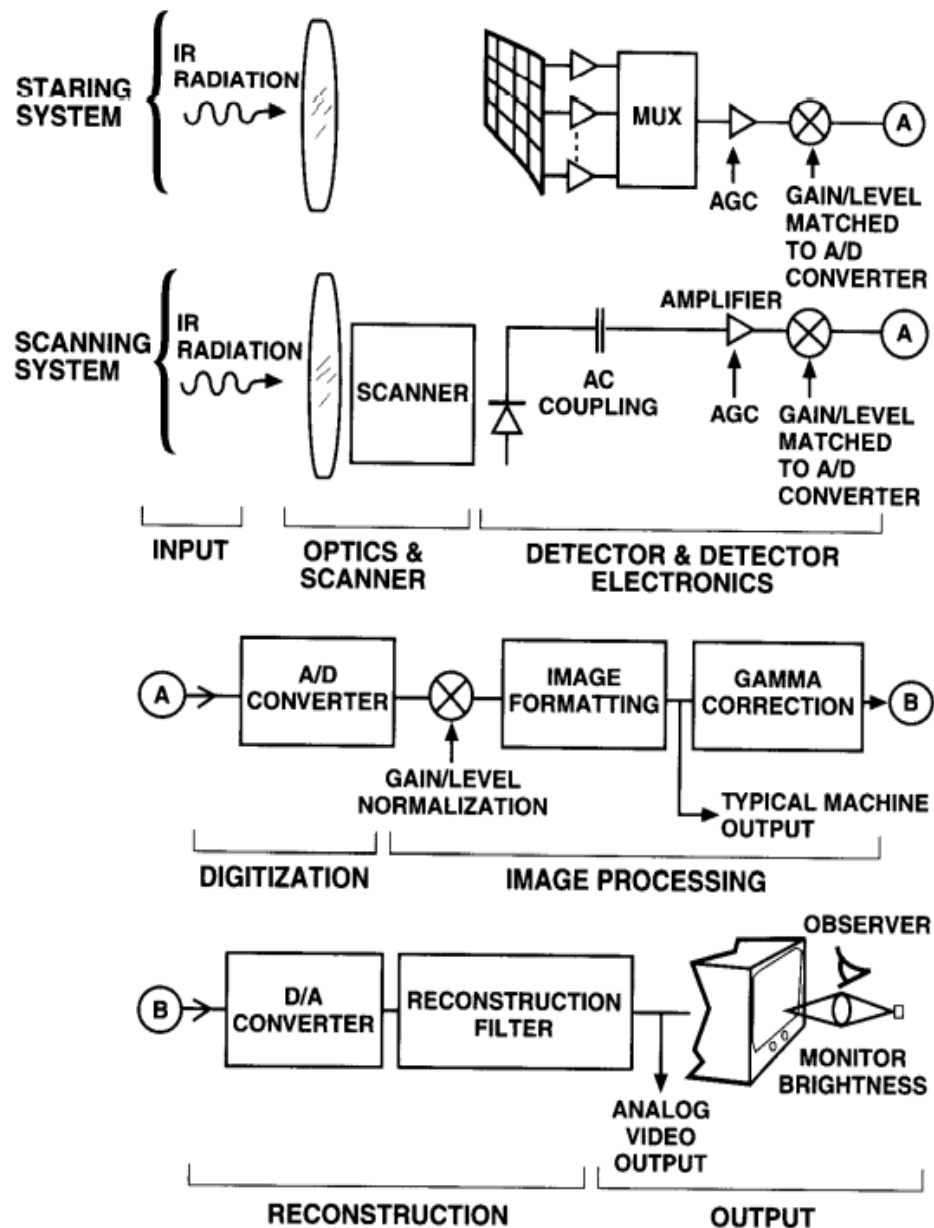
je 14 bita, odnosno 16,384 razina. Na kvantizaciju također utječe i osjetljivost, odnosno minimalna razlika temperature u dvije točke slike. To se obično izražava kao temperaturna razlika ekvivalentna buci (NETD). Tipične vrijednosti su oko 20-50 mK. Treći aspekt digitalizacije je vremensko uzorkovanje, odnosno broj slika ili kadrova koje infracrvena kamera može steći u sekundi. Uobičajene brzine kadrova su 30 Hz ili 60 Hz za pune slike. Međutim, korištenjem prozora, to jest uzimajući samo iz područja okvira, brzina kadrova može se značajno povećati.<sup>[4]</sup>

#### 2.4.1. DIZAJN KAMERE

Funkcionalni elektrooptički blok dijagram prikazan na slici 5. prikazuje pet glavnih podsustava infracrvene kamere: optika i skener, detektor i elektronika detektora, digitalizacija, obrada slike i rekonstrukcija slike. Slika 5, odnosi se na sustave za skeniranje i zurenje. Nisu sve komponente prisutne u svim kamerama. Poseban dizajn ovisi o broju elemenata detektora i potrebnom izlaznom formatu. Detektor je srce sustava za snimanje jer pretvara infracrveno zračenje u mjerljivi električni signal i pretvara ciljne prostorne informacije u električne vremenske informacije. Pojačanje i obrada signala stvaraju elektroničku sliku u kojoj razlike napona predstavljaju razlike u intenzitetu scene. Elektronika detektora usklađena je s karakteristikama detektora i potrebnim izlazom. Mnogi sustavi digitaliziraju signale zbog relativne lakoće stvaranja slike. Osim toga, dostupni su mnogi algoritmi za poboljšanje digitalne slike. Sustavi strojnog vida obično rade u digitalnoj domeni. Možda će biti potrebno formatirati podatke u signale i vrijeme usklađeno sa zahtjevima monitora. Monitor može, ali i ne mora biti sastavni dio sustava infracrvene slike. Radi praktičnosti, mete su označene kao vruće ili hladne. Vruće se odnosi na metu koja izgleda toplije od neposredne pozadine, a hladno znači da se meta čini hladnijom od neposredne pozadine. Izbor vrućih predmeta koji se pojavljuju bijeli, a hladnih predmeta koji izgledaju crni je proizvoljan. S dostupnim elektroničkim preokretom polariteta, mogu se stvoriti "bjele vruće" ili "crne vruće" mete. Uz "vruće na crno", vrući predmeti izgledaju tamno sivo na neutralnoj podlozi. Kako se objekt zagrijava, njegov prikaz na monitoru postaje sve više crn. Obrnuto vrijedi za "bijelo vruće". Uz "bijelo vruće", meta postaje "bjelja" kako se njezina prividna temperatura



povećava u odnosu na pozadinu. Izlaz detektora je jednostavno napon koji se može preslikati u pseudo-boje. Kao što se često radi s ljudskim osjećajima, hladni predmeti često su predstavljeni kao plavi, a vrući kao crveni. Je li ispis prikazan u sivoj ljestvici ili pseudo-bojama stvar je osobnih preferencija no ove se boje koriste samo za isticanje značajki, one se ne smiju miješati s temperaturom boje objekta.[10]



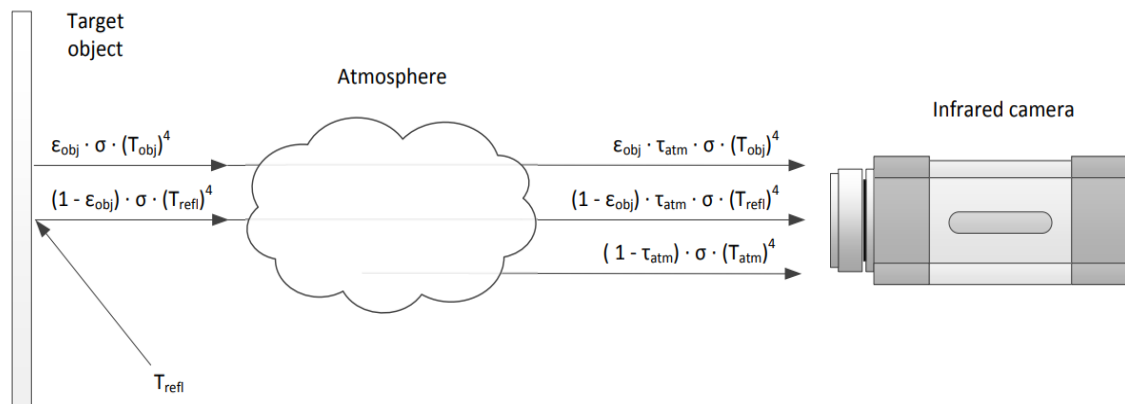
Sl. 5. Opći funkcionalni blok dijagram [10]

## 2.5. MJERENJE TEMPERATURE

Temperatura je jedna od najčešće mjerenih fizičkih veličina. Mjerenje temperature daje informacije o unutarnjoj energiji objekta, pa je njegova regulacija i kontrola od vitalne važnosti u mnogim industrijskim procesima. Provođenje mjerenja pomoću infracrvene tehnologije mjeri infracrveno zračenje koje emitira objekt i pretvara detektiranu energiju u vrijednost temperature. Budući da svo zračenje ne dolazi s ciljanog objekta, za točno mjerenje temperature potrebno je zračenje iz drugih izvora (poput okolnih objekata ili atmosfere) ukloniti pri konverziji u temperaturu. Taj se proces naziva kompenzacija. Ukupno zračenje koje kamera prima ( $W_{tot}$ ) dolazi iz tri izvora: emisije ciljnog objekta ( $E_{obj}$ ), emisije okoline koju reflektira objekt ( $E_{refl}$ ) i emisije atmosfere ( $E_{atm}$ ). Može se izraziti kao jednadžba:

$$W_{tot} = E_{obj} + E_{refl} + E_{atm} \quad (1)$$

Postupak je prikazan na slici 3.



Sl. 6. Zračenje koje prima infracrvena kamera [4]

Prvi izvor je emisija iz ciljnog objekta. Međutim, kamera ne prima sve zračenje koje emitira ciljani objekt; kao funkciju propusnosti atmosfere ( $\tau_{atm}$ ), neke apsorbira atmosfera. Tako se emisija ciljnog objekta može izraziti jednadžbom:

$$E_{obj} = \epsilon_{obj} * \tau_{atm} * \sigma * (T_{obj})^4 \quad (2)$$

Siva tijela imaju refleksiju veću od nule. Tako odražavaju infracrveno zračenje koje emitira okolina. Refleksivnost se može izračunati iz emisivnosti, dio odbijenog zračenja

apsorbira atmosfera. Ovo je druga komponenta koju je primila kamera i može se izraziti kao jednadžba:

$$E_{refl} = \rho_{obj} * \tau_{atm} * \sigma * (T_{refl})^4 = (1 - \varepsilon_{obj}) * \tau_{atm} * \sigma * (T_{refl})^4 \quad (3)$$

Treća komponenta je emisija infracrvenog zračenja iz atmosfere. To se može izraziti jednadžbom, gdje je  $(1 - \tau_{atm})$  emitirajuća atmosfera:

$$E_{atm} = \varepsilon_{atm} * \sigma * (T_{atm})^4 = (1 - \tau_{atm}) * \sigma * (T_{atm})^4 \quad (4)$$

Supstitucijom jednadžbi (2) - (4) u (1), dobiva se jednadžba (5). Stoga se temperatura objekta može izračunati iz jednadžbe (6). Slične jednadžbe koriste različiti proizvođači kamera za mjerenje temperature.

$$W_{tot} = \varepsilon_{obj} * \tau_{atm} * \sigma * (T_{obj})^4 + (1 - \varepsilon_{obj}) * \tau_{atm} * \sigma * (T_{refl})^4 + (1 - \tau_{atm}) * \sigma * (T_{atm})^4 \quad (5)$$

$$W_{tot} = \varepsilon_{obj} * \tau_{atm} * \sigma * (T_{obj})^4 + (1 - \varepsilon_{obj}) * \tau_{atm} * \sigma * (T_{refl})^4 + (1 - \tau_{atm}) * \sigma * (T_{atm})^4 \quad (5)$$

$$T_{obj} = \sqrt[4]{\frac{W_{tot} - (1 - \varepsilon_{obj}) * \tau_{atm} * \sigma * (T_{refl})^4 - (1 - \tau_{atm}) * \sigma * (T_{atm})^4}{\varepsilon_{obj} * \tau_{atm} * \sigma}} \quad (6)$$

Da bi se riješila jednadžba (6), sljedeći parametri moraju biti poznati: emisivnost objekta ( $\varepsilon_{obj}$ ), reflektirana temperatura ( $T_{refl}$ ), propusnost atmosfere ( $\tau_{atm}$ ) i temperatura atmosfere ( $T_{atm}$ ). Propusnost atmosfere općenito se procjenjuje pomoću udaljenosti od do kamere i relativne vlažnosti. Općenito, ta je vrijednost vrlo blizu jedan. Temperatura atmosfere se dobiva uobičajenim termometrom. Međutim, budući da je emisija atmosfere vrlo blizu nule  $(1 - \tau_{atm})$ , ovaj parametar ima mali utjecaj na mjerenje temperature. S druge strane, emisijska vrijednost objekta i reflektirana temperatura imaju vrlo veliki utjecaj na mjerenje temperature i moraju se mjeriti vrlo precizno.<sup>[4]</sup>

## 2.6. VLAGA U TEKSTILNIM MATERIJALIMA

Protok vlage u tekstilnim materijalima važan je s gledišta udobnosti. Učinkovitost transporta vlage kroz tekstilnu strukturu je značajan, posebno za prvi sloj odjevnog sustava. Prvi sloj se obično sastoji od funkcionalnog donjeg rublja, uglavnom se takvo donje rublje koristi za sustave sportske odjeće. Međutim, drugu važnu korisničku skupinu čine radnici poput vatrogasaca, vojnika, industrijski radnici, oni koji rade u ekstremnim uvjetima. Ne zapaljivo funkcionalno donje rublje koristi se kao sekundarna toplinska barijera i zajedno s vanjskim slojem odjeće pruža potrebnu zaštitu. Fizička udobnost oba rublja značajan je čimbenik za nositelje koji su aktivni. Funkcionalno donje rublje trebalo bi odvoditi znoj s kože kapilarnom metodom, taj način pripada poznatim metodama koje koriste fenomen kapilare za procjenu svojstva transporta tekućine u tkanini. Općenito, upijanje se događa kada tekućina putuje po površini vlakna, ali ne apsorbira u vlakno. Fizički upijanje je spontano strujanje tekućine u poroznoj podlozi koju pokreću kapilarne sile. Vrsta protoka u bilo kojem poroznom mediju, uzorkovana kapilarnim djelovanjem, je ovisna o svojstvima tekućine, površinskim interakcijama tekućeg medija i geometrijskom konfiguracijom strukture pora u mediju. Brzina (udaljenost po jedinici vremena) tekućine koja putuje uzduž i/ili kroz uzorak vizualno je promatrano prema standardnim metodama upijanja, te je ručno snimano vrijeme na određenim intervalima. Postoji mnogo testova upijanja tekućine u materijal, neki od njih bave se mjerenjem transporta vode u tekstilu pomoću električnog kapaciteta, posebno dizajniranog aparata s električnim pojačalom i kondenzatorskim elektrodama, među koje se postavljaju uzorci vlakna. Različiti autori su koristili sustav za analizu slike kod ispitivanja vertikalne metode upijanja. Boja ispitivanih tkanina može utjecati na točnost rezultata ispitivanja dobivenih analizom slike, osobito u slučaju nedovoljnog kontrasta između navlaženog i suhog područja. Tada postoji drukčiji pristup, uporaba sustava rasvjete (UV svjetiljka) daje dobru rezoluciju i kvalitetu slike bez dodatka bojila. Hamdaoui i Ben su razvili matematički model za predviđanje potpunog profila okomitog upijanja tekućine u materijal, uzimajući u obzir različite utjecajne parametre (sastav i struktura). Ovaj način također može odrediti parametre difuzije i visinu postignutu vodom u ravnoteži, bez dodatka bojila. Sorpcijska sposobnost materijala je također uzeta u obzir. Sharabaty i

suradnici su uzimali mjerenja porasta kapilara na dvoslojnoj tkanini. Ove su tkanine proučavane zbog transporta ljudskog znoja u tekstilu, kako bi se omogućila bolja fizička udobnost. Odjeća je proizvod namjenjen izravnom kontaktu s kožom, stoga istraživači ne proučavaju samo svojstva prijenosa tekućine, već i sušenje tekstilnih materijala. U daljnjem razvoju, tehnika koja se temelji na kombinaciji termografskog sustava i analize slike, je razvijena za procjenu vertikalnog upijanja tekućine u tkaninu. Korištenje infracrvenih kamera za praćenje širenja tekućina u tkanini, moguća je zbog vidljivosti fizikalnih fenomena u infracrvenom spektru valne duljine. Termografski sustav uzima prednost fizikalnih načela, da tijekom upijanja vode temperatura pada. Ovaj proces moguće je snimiti termografom na termografskom sustavu. Dobiveni termografi mogu se ocijeniti sustavom za analizu slike kako bi se pronašli parametri upijanja vlage u tekstilnim materijalima. Porast kapilara vode može se proučavati na temelju tri ljestvice poroznosti u tkanim materijalima, u kojima se molekule vode mogu raspršiti. To su prazni prostori između pređa u strukturi (mezo pore), pore između vlakana u pređi (mikro pore) i pristupačna mjesta amorfnih regija. Poroznot tekstilnih materijala jedan je od najvažnijih parametara koji utječu na vlagu u tekstilu. 3D struktura slike tkanine, parametri 3D poroznosti i raspodjele pora, mirkotomografskim sustavom omogućuju detaljnije razumijevanje širenja vlage na materijalu. [13]

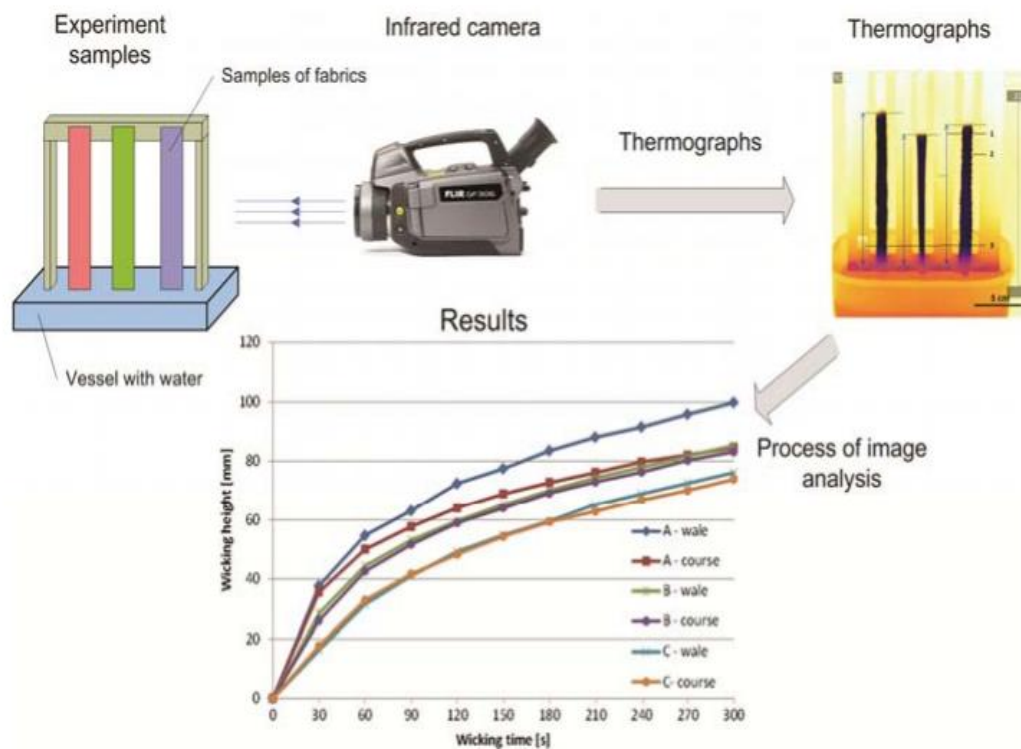
## 2.7. MJERENJE TOPLINSKIH SVOJSTAVA TEKSTILNIH MATERIJALA

U istraživanju tekstila toplinska svojstva materijala su od najveće važnosti. Michalak je izvijestio o nizu studija koje su primjenjivale termografiju kao beskontaktnu metodu za mjerenje toplinskih svojstava i prijenosa topline u tekstilnim proizvodima. Prilagođena ručna postava omogućavala je zagrijavanje uzorka na jednom dijelu i promatranje raspodjele površinske temperature s obje strane uzorka na drugom dijelu gdje nije izravno zagrijan. Iz promatranja vremenske evolucije temperature s obje strane uzorka bilo je moguće zaključiti o toplinskoj vodljivosti uzorka u ravnini i poprečno. Tehnika je korištena i za mjerenje svojstava toplinske barijere tekstilnih proizvoda. Iz oblika i međusobnog položaja vremenske temperature karakteristike, različiti načini prijenosa topline odnosno vodljivost, konvekcija i zračenje, identificirani su prvi put. U sličnoj

studiji izviješteno je mjerenje poprečne toplinske vodljivosti ne tkanih materijala i ne tkanih materijala s fazno promjenjivim materijalima. Tehnika se temeljila na postupku optimizacije koji minimizira temperaturnu razliku dobivenu analitičkim modeliranjem i termografskim mjerenjima. Materijalu je dodavana toplina, a raspodjela temperature proračunata je tijekom zagrijavanja i hlađenja pomoću 3D toplinskog modela. Michalak i suradnici su također proučavali toplinske parametre ne tkanih materijala izrađenih od vlakana konoplje, kemijskih vlakana i s dodatkom električno provodljivih vlakana. U tekstilu su takva istraživanja prvi put primijenjena metodom pulsne termografije. Površina ispitivanog uzorka netkanog materijala bila je izložena infracrvenom zračenju zračenja tijekom 100 s. Raspodjela temperature na drugoj površini uzorka zabilježena je tijekom izlaganja i nakon toga. Rezultati ovog pokusa uspoređeni su s rezultatima raspodjele temperature dobivenim pri registriranju raspodjele temperature na izloženoj površini. Analiza dobivenih rezultata pokazala je da vlakna konoplje imaju bolja svojstva barijere od proučavanih kemijskih vlakana. Iz pada temperature tijekom procesa hlađenja bilo je moguće razlikovati materijale s različitim toplinskim vodljivostima i difuzivnostima. Druga studija je izvijestila o termografiji za mjerenje toplinskih svojstava tekstilnog proizvoda i vizualizaciju toplinskog toka u tekstilnim materijalima i dizajnu odjeće. Kako bi istražili toplinske učinke na tekstilni materijal digitalnim inkjet tiskom, Novaković i suradnici koristili su termo-vizijsku kameru za promatranje raspodjele površinske temperature uzorka. Tiskani materijal bio je izložen toplinskom opterećenju grijaćim elementom do željene temperature. Točna vrijednost toplinske učinkovitosti određuje se termo-vizijom. Metoda termo-vizije također se koristila za procjenu propusnosti toplinskog strujanja u kompozitnim materijalima kao funkcija raspodjele udaljenosti između armaturnih vlakana. Metoda je korištena za identificiranje promjena toplinske vodljivosti u polimernoj matrici i njenu ovisnost o geometrijskoj raspodjela armaturnih vlakana. Raspodjela temperature na površini objekta kao odgovor na upadni tok energije funkcija je toplinskog svojstva materijala. Ako su prevladavajući granični uvjeti poznati ili izmjereni, toplinski parametri mogu se procijeniti iz podataka o prijelaznoj temperaturi pomoću odgovarajućih matematičkih modela. Infracrvena kamera pokazala se kao vrlo koristan alat u mjerenju toplinskih svojstva tekstilnih materijala jer može mjeriti dvodimenzionalnu raspodjelu temperature bez razaranja i s razumnom točnošću.<sup>[12]</sup>

## 2.8. METODA VERTIKALNOG UPIJANJA TEKUĆINE U TEKSTIL POMOĆU TERMOGRAFSKOG SUSTAVA

Brzina transporta vode u materijalu mjeri se pomoću testa okomite trake. Jedan kraj tkanine je pričvršćen okomito u zraku, dok drugi kraj visi u posudi koja sadrži destiliranu vodu. Primjećuje se porast kapilara u različitim intervalima vremena, te se snima videozapis termalnom kamerom. Rezultati se iskazuju u milimetrima, što je veća vrijednost upijanja to je veća sposobnost transporta tekućine u materijalu. Toplinska slika se koristi pri praćenju vlage na materijalu, iz razloga što rezultati nisu precizni ako se promatraju samo golim okom. Visina tekućine određuje se obradom slika na temelju razlika u razini boje. [13]



Sl. 7. Shematski dijagram procjene okomitog upijanja pomoću termografskog sustava [13]

## 2.9. TEKSTIL U SPORTU

Sportska odjeća danas predstavlja neophodan element za sve vrste tjelesnih aktivnosti u cijelom svijetu. U davnini su ljudi trčali u najjednostavnijem ruhu boreći se za opstanak ili pak bježeći od životinja. Tijekom evolucije odjeća je postala dio kulture i sigurnosnih propisa, ona prati modne trendove i štiti kožu od potencijalnih vanjskih opasnosti. Specifična oprema i odjeća oduvijek su pratili razvoj drevnog i modernog sporta. Proizvođači sportske odjeće uključeni su u proces dizajna, kombinirajući estetiku i funkcionalnost, kako bi zadovoljili sportske zahtjeve ali i ljudski ukus. Nadalje, postoje određena pravila sportskog saveza kojih se mora pridržavati za sudjelovanje u natjecateljskim događajima. Sportska odjeća nalazi se na sučelju između ljudskog tijela i okoline, stoga modificira prienos topline i mase na površini kože. U tom kontekstu, odjeća dolazi u interakciju s fiziološkim i fizičkim procesima koji utječu na temperaturu kože, što se može procijeniti infracrvenom termografijom. Tijekom posljednjeg desetljeća velika pozornost je posvećena regionalnim termoregulacijskim efektorskim odgovorima (npr. Mapiranje lokalnih temperatura kože), kako bi se izbor i pozicija materijala bolje prilagodili zadovoljavanju tjelesnih potreba. Toplinski uzorci dobiveni infracrvenom termografijom s visokom prostornom osjetljivošću postaju vrlo prikladni pri mjerenju kontakta na koži za mapiranje velikih područja tijela. Procjena sportskih odjevnih predmeta, posebno njihovog utjecaja na kožu, ovom tehnikom omogućuje veliki napredak na području dizajna odjeće i njegovu posljedicu na sportske performanse i toplinsku udobnost, kako za rekreativce tako i za profesionalne sportaše.[5]

## 2.10. TERMOGRAFIJA U TEKSTILNOJ INDUSTRIJI

Najraširenija primjena termografije u području tekstilnog inženjerstva je pri ispitivanju izolacijskih svojstava odjeće. Ova metoda nam koristi za dobivanje informacija o distribuciji temperature na površini kože koja se može naći u različitim uvjetima okoline te u različitim odjevnim kompletima. Pošto je temperatura kože jedan od najbitnijih pokazatelja izmjene topline između tijela i okoline, distribucija temperature na koži također je bitan čimbenik za evaluaciju toplinske udobnosti. U prvom redu se ispituje

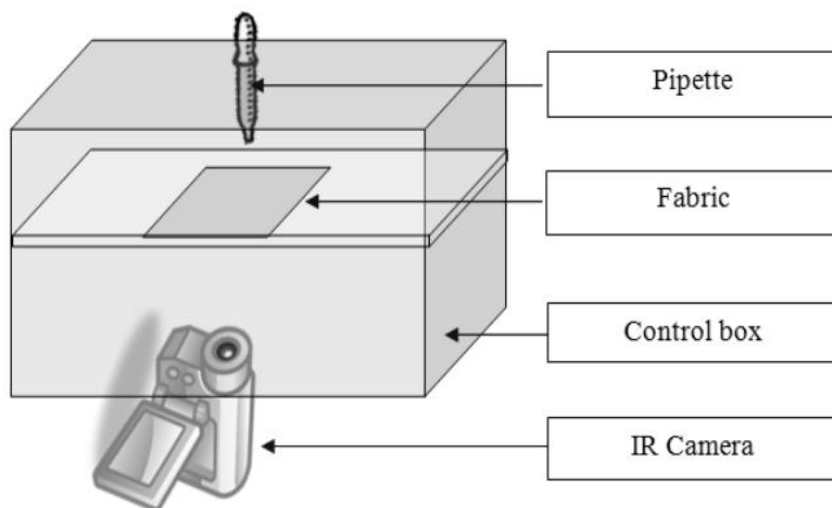


odjeća koja se nosi pri iznimno niskim ili iznimno visokim temperaturama, kao što su zaštitna odjeća (primjerice vatrogasna odjeća) te odjeća za specijalnu namjenu (npr. vojne i policijske uniforme). Termografija se također koristi i za evaluaciju svojstava odjeće za osobnu uporabu (Mijović i sur., 2008., 2009.). Navedena metoda se pokušala iskoristi i za evaluaciju pristalosti odjeće, pritiska odjeće na tijelo i utjecaja aktivnosti različitog intenziteta na raspodjelu topline (Choi i sur., 2008.). Kada se govori o području ispitivanja plošnih proizvoda, termografija se koristi za ocjenu oštećenja tekstila i elektrokonduktivnih tkanina (Banaszczyk i sur., 2008.). Glavni mehanizam hlađenja tijela u toplijim uvjetima okoline je isparavanje znoja. Različite metode koje su objavljene u dijelu studija primijenjene su kako bi se odredila količina znoja koja se izlučuje (Havenith i sur., 2008., Machado-Moreira i sur., 2008.) ili kako bi se odradio utjecaj aktivnosti na promjenu intenziteta znojenja.<sup>[11]</sup>

## 2.11. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA U SPORTSKOJ ZNANOSTI

Tekstilna industrija koristi brojne testove kvalitete i performansi, od kojih mnogi koriste sustave strojnog vida. Među tim metodama ispitivanja je evaluacija svojstva prenošenja vlage na materijalu, koje se naziva upijanje. Američko udruženje tekstilnih kemičara i kolorista (eng. The American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC)), ima odobrene različite metode ispitivanja, uključujući vodoravne testove upijanja (AATCC Test Methods 198-2011) i ispitivanje vremena sušenja (AATCC Test Methods 199-2011). Prvi navedeni test mjeri kretanje vode na površini tkanine kao i kroz tkaninu. Tkanina je postavljena u horizontalni položaj i vrši se postupak vizualnog pregleda. Drugi test mjeri vrijeme koje je potrebno da tekućina ispari iz materijala pomoću gravimetrijskog analizatora vlage. Budući da se postupci oslanjaju na vizualni pregled, rezultati mogu biti subjektivni, to posebno vrijedi za tamne tkanine kod kojih je teško vidjeti razliku između mokrog i suhog područja. Upravo zbog toga predloženi su pristupi mjerenja vlage koristeći razne senzore, mogu se karakterizirati kao električni, optički i toplinski. Kod električnih senzora nedostatak je bio njihova potreba da budu u dodiru s materijalom, dok optički senzori nisu bili dovoljno precizni s tamnim ili šarenim tkaninama. U novije doba istraživači su počeli koristiti toplinske senzore za određivanje količine vlage u materijalu.

Za razliku od prethodnih metoda, toplinski senzori izravno mjere temperaturne razlike stoga pružaju objašnjenje procesa upijanja. Također niti tamni niti šareni materijali im ne predstavljaju problem. D. Dupuis, kao i R. Niedermann i R.M. Rossi, predložili su uporabu toplinske slike za kvantificiranje transporta vlage u materijalu. Dupuis je koristio infracrvenu termografiju za mjerenje stope upijanja u ženskim higijenskim ulošcima, koji su pokazivali njezinu primjenjivost u višeslojnim tkaninama. Dok su Niedermann i Rossi navlažili materijal te konstantno mjerili njihovu temperaturu, sve do potpunog sušenja.[6]



Sl. 8 Postaja za akviziciju [6]

### 3. METODIKA RADA

#### 3.1. VRIJEME MOČENJA UZORAKA I BRZINA ŠIRENJA TEKUĆINE

Tekstilna industrija koristi razne testove kvalitete. Jedan od tih je procjena svojstva prijenosa vlage na materijalu, točnije vrijeme močenja materijala, brzina širenja tekućine po materijalu, te vrijeme potrebno za sušenje materijala. Vrijeme močenja (s) materijala promatra se duž ili kroz materijal kapilarnim putem u vodoravnom položaju tkanine, dok se kod brzine širenja tekućine promatra vrijeme koje je potrebno da određena količina tekućine raširi u smjeru osi x i u smjeru osi y (mm/s).

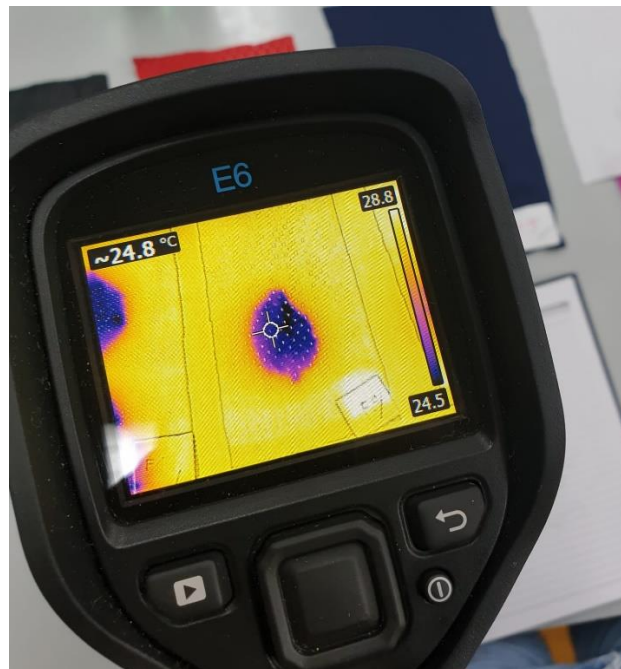
Faze postupka provođenje ove metode su:

- Vrijeme močenja: ova značajka označava vrijeme potrebno da se aplicirana voda u potpunosti raširi po površini materijala.
- Brzina močenja: ova se značajka izdvaja kao nagib linearnog dijela razdoblja močenja. Predstavlja brzinu širenja tekućine koja prolazi kroz materijal.
- Površina močenog dijela materijala: statičko razdoblje predstavlja vrijeme u kojem vlažno područje doseže najveću površinu (površina močenog dijela uzorka, mm<sup>2</sup>). Određeni materijali imaju veću površinu močenog dijela u usporedbi s drugima, što obično čini sveukupno vrijeme sušenja kraćim.
- Trajanje sušenja: ova značajka označava vrijeme potrebno da određena količina vode ispari s površina materijala. Sušenje zapravo započinje nakon završetka postupka močenja, što uključuje i statičku fazu. Ovo vrijeme se mjeri kao vrijeme proteklo od prve točke prekida do završetka sušenja.

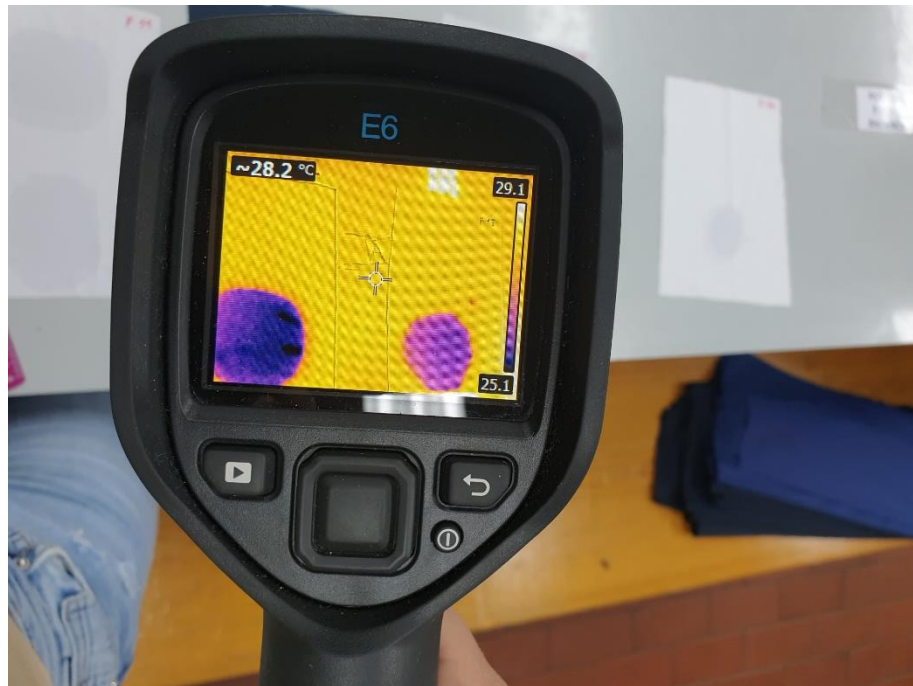
Pri ispitivanju vremena močenja uzoraka, brzine širenja tekućine i vremena sušenja uz pomoć kapaljke se tekućina prenosi na površinu uzorka. Na svaki uzorak je primjenom pipete nanoseno 0.5 ml tekućine i to na dva različita mjesta na površini uzorka. Uz pomoć ravnala mjerio se promjer močenja u smjeru osi x i u smjeru osi y, te se kasnije izračunala brzina širenja promjera u smjeru osi x i u smjeru osi y kao omjer promjera i vremena močenja. Površina močenog dijela izračunala se množenjem promjera u smjeru osi x i u smjeru osi y. Sušenje započinje nakon završetka postupka močenja do završetka sušenja.

### 3.2. ISPITIVANJA PRIMJENOM TERMOGRAFSKE KAMERE

Kombinacija termografske kamere i učinkovitih metoda obrade slike omogućuje se precizno praćenje vlažnog područja materijala tijekom faza močenja i sušenja. FLIR E6 je termografska kamera (slika 4.6.1.) koja nudi mogućnost mjerenja u temperaturom rasponu od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+250^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}\text{F}$  do  $+482^{\circ}\text{F}$ ) s točnošću od  $\pm 2\%$ . Jednostavna je za korištenje, te je to vrhunski, pristupačni alat za termički pregled koji daje vrhunske MSX slike koje jasno otkrivaju probleme, točnije, od izvora gubitka energije i strukturnih problema do pregrijavanja električne i mehaničke opreme. Također, služi za pronalazak vlage i oštećenja nastalih pod utjecajem vode. Ova termografska kamera zahtjeva kalibraciju kako bi se mogla točno odrediti temperatura, a to se najčešće provodi tijekom proizvodnje i servisa, često uz pomoć posebnog softvera. Termografska kamera FLIR E6 je ručna, termalna kamera s kompaktnim i ergonomskim dizajnom, te to olakšava rad jednom rukom, a uz to je i prenosiva što svakako olakšava njenu primjenu. FLIR E6 ima jednostavnu navigaciju tipkama, postavke na zaslonu, različite alate za mjerenje i nekoliko načina snimanja i spremanja slika. Termalna kamera nudi rezoluciju od 19.200 (160 x 120) piksela. Rezultati ispitivanja FLIR E6 kamerom mogu se odmah vidjeti na LCD-u kamere. Što se tiče memorije kamere, može se spremiti 500 slika.



Sl. 9. Ispitivanje materijala termalnom kamerom

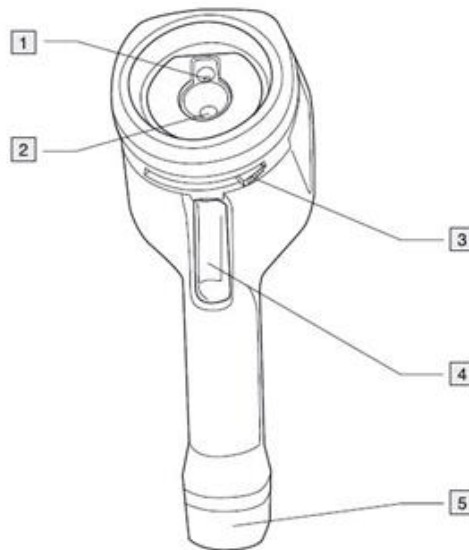


Sl. 10. Ispitivanje materijala termalnom kamerom



Sl. 11. Prikaz termalne kamere FLIR E6

Na slici 4. prikazani su dijelovi termalne kamere FLIR E6, a to su: 1. leća digitalne kamere, 2. infracrvena leća, 3. ručica za otvaranje i zatvaranje poklopca leće, 4. tipka za spremanje fotografija i 5. baterija.



Sl. 12. Prikaz dijelova termalne kamere FLIR E6

Na slici 5. prikazan je prednji dio termalne kamere FLIR E6 koji se sastoji od: 1. zaslon kamere, 2. tipka za pregled spremljenih fotografija, 3. tipka za navigiranje (pretraživanje) po zaslonu kamere, 4. tipka za povratnu radnju i 5. ON/OFF tipka.

### 3.3. KARAKTERISTIKE UZORAKA

Kako je radi o materijalima koje koriste sportaši, točnije nogometaši, zamjetno je kako je sirovinski sastav građen od sintetskih vlakana. Ona se upotrebljavaju zbog toga što se njihova svojstva mogu izmjenjivati u skladu s potrebama. Neka od svojstva su: vlakna povećane udobnosti, smanjenje sklonosti pilingu, povećanje sposobnosti obojenja, povećanje čvrstoće i elastičnosti, otpornost na plamen, kemikalije, zračenja, i još mnoga druga svojstva. Različita svojstva se postižu raznovrsnim izmjenama na razini molekularne građe polimera ili nadmolekularne strukture, dodavanjem raznih aditiva, promjenom poprečnog presjeka, itd. [7]

Poliester je jedno od najpopularnijih umjetnih vlakana, neke od njegovih prednosti su čvrstoća, otpornost na habanje i nabora, udobnost, te ne zahtijevaju posebnu brigu dok su cijene razumne. Poliester se može miješati s različitim vlaknima, no savršeno se uklapa u elasthan. Njihova mješavina se široko koristi za izradu čarapa i sportske odjeće, elasthan poliesteru daje određenu prozračnost, te naravno poboljšava elastičnost.[8]

Tab. 1. Karakteristike ispitivanih uzoraka

<b>Br.</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Prosječna debljina, mm</b>	<b>Srednja vrijednost plošne mase, g/m<sup>2</sup></b>	<b>Sirovinski sastav</b>
<b>1</b>	<b>F1</b>	0.548	105,90	100% PES
<b>2</b>	<b>F2</b>	0.632	153,10	100% PES
<b>3</b>	<b>F3</b>	0.830	192,11	100% PES
<b>4</b>	<b>F4</b>	0.739	157,82	100% PES
<b>5</b>	<b>F5</b>	0.488	136,42	100% PES
<b>6</b>	<b>F6</b>	0,618	155,51	100% PES
<b>7</b>	<b>F7</b>	0,491	151,12	100% PES
<b>8</b>	<b>F8</b>	0,556	145,13	100% PES
<b>9</b>	<b>F9</b>	0.492	178,62	91% PES 9% Elastan
<b>10</b>	<b>F10</b>	0.572	196,70	92% PES 8% Elastan
<b>11</b>	<b>F11</b>	0.451	180,46	84% PES 16% Elastan
<b>12</b>	<b>F12</b>	0.352	141,79	87% PES 13% Elastan
<b>13</b>	<b>F13</b>	0.451	130,40	100% reciklirani PES
<b>14</b>	<b>F14</b>	0.629	184,22	100% reciklirani PES



Sl. 13. Uzorci ispitivanih materijala



### 3.4. REZULTATI I RESPRAVA

Tab. 2. Rezultati ispitivanja

UZORAK	VRIJEME MOČENJA [s]	PROMJER MOČENJA					VRIJEME SUŠENJA [h]
		X os [mm]	Y os [mm]	Površina [mm <sup>2</sup> ]	Brzina širenja tekućine u smjeru x [mm/s]	Brzina širenja tekućine u smjeru y [mm/s]	
F1	06,19	65	70	4550	10,50	11,31	01:12:26
F2	31,65	33	40	1320	01,04	01,26	01:40:11
F3	03,74	40	50	2000	10,70	13,37	02:06:55
F4	01,66	35	55	1925	21,08	33,13	01:42:17
F5	01,67	75	85	6375	44,91	50,90	01:18:30
F6	02,13	80	70	5600	37,56	32,86	01:05:15
F7	01,89	65	80	5200	34,39	42,33	01:23:37
F8	00,93	80	90	7200	86,02	96,77	01:14:36
F9	03,86	60	70	4200	15,54	18,13	01:37:32
F10	02,03	80	70	5600	39,41	34,48	01:29:51
F11	06,90	75	75	5625	10,87	10,87	01:22:57
F12	04,48	90	90	8100	20,09	20,09	00:57:01
F13	01,78	80	90	7200	44,94	50,56	01:02:49
F14	01,52	55	60	3300	36,18	39,47	01:36:33

U ispitivanju su korišteni materijali od 100% poliester, recikliranog poliester, te mješavine poliester s elastanom, kod kojih je minimalni udio poliester bio 84%. Na uzorcima koji sadrže elasta je primjetna poveća razlika u istezanju pri zadavanju sile. Iako je prevladavao isti materijal, uzorci su se razlikovali po vrijednosti plošne mase i prosječnoj debljini. Prosječne debljine se kreću od 0,352 do 0,830 mm, a plošne mase od 105,90 do 196,70 g/m<sup>2</sup>. Međutim plošna masa uzorka čija je prosječna debljina 0,830mm ima srednju vrijednost plošne mase od 192,11 g/m<sup>2</sup>, dok uzorak prosječne debljine 0,352 mm ima masu od 141,79 g/m<sup>2</sup>. Dok uzorak s plošnom masom od 105,90 g/m<sup>2</sup> ima prosječnu debljinu od 0,548 mm, a uzorak mase 196,70 g/m<sup>2</sup> ima prosječnu debljinu 0,572 mm. Dok je razlika u debljini samo 0,024 mm, razlika u masi je puno veća naprema debljini. O tome ne ovisi samo sastav materijala, već i način tkanja. S obzirom da su korišteni uzorci imali namjenu za dresove nogometaša, prvobitno su prozračni, lagani materijali, koji upijaju znoj a pritom nestvaraju neugodu pri nošenju. Poliester je poznati materijal s širokom namjenom u sportskoj odjeći, on upija znoj kako se ne bi zadržavao na tijelu, no upijeni znoj ne stvara težinu niti nelagodu. Iako su većinom gusto tkani, neki imaju rupice za veću prozračnost, veoma su lagani.

Pri ispitivanju materijali su namočeni s 0,5ml vode odmjerenih pipetom, tada se promatralo vrijeme močenja, tj. vrijeme od kapanja vode do kada ju je materijal potpuno upio. Vremena močenja se kreću od 0,93 sekunde do čak 31,65 sekundi, ukupni prosjek svih vremena močenja je 5,03 sekunde. Uzorak kojemu je trebalo 31,65 sekundi je veoma odstupao od svih drugih, iako njegova plošna masa i debljina nisu uvelike odstupali. Razlog velikom vremenu močenja je način tkanja, uzorak je bio tkan toliko gusto da se voda sporije upijala. Vremena močenja su bila relativno brza. Ako se zanemari vrijeme močenja uzorka koji je odstupao prosjek iznosi 2,98 sekunde. Zbroj svih vremena močenja također bez uzorka koji odstupa iznosi 38,78 sekundi što je za 7 sekundi više od vremena močenja samo jednog uzorka. Nakon vremena močenja mjerio se promjer namočenog dijela, promjer se mjerio tek kada se voda u potpunosti raširila po materijalu. Što je vrijeme močenja bilo veće to je promjer bio manji, iako to najviše ovisi o debljini materijala. Što je materijal tanji to će se brže voda proširiti. Mjerenjem namočenog dijela u smjeru x i u smjeru y omogućilo je izračun površine. Površina namočenih djela varira od 1320 do 8100 mm<sup>2</sup>. 1320mm<sup>2</sup> iznosi površina već spomenutog uzorka koji je imao duže vrijeme močenja,

što ima smisla jer je materijal bio deblji pa je vodila prodirala u „dubinu“. Dok je materijal koji ima najmanju prosječnu debljinu imao površinu namočenog dijela od  $8100\text{mm}^2$ , što dovodi do zaključka da površina upijenog dijela vode najviše ovisi o debljini materijala. Nakon toga izračunom je dobivena brzina širenja tekućine u smjeru x i y osi, brzina i površina su povezane, što je brzina manja to je i površina manja. Logično s obzirom da ako materijal sporo upija, onda će površina upijenog dijela biti manja jer tekućina ulazi u dubinu materijala umjesto da se odmah širi. Isto tako kod materijala kod kojih se tekućina brzo upila, tj. materijala s malom prosječnom debljinom, površina je veća jer se tekućina brzo raširila. Nakon toga potrebno je bilo zabilježiti vrijeme sušenja, to je vrijeme do kada je materijal bio u potpunosti suh. Golim okom je teško vidjeti da li je materijal potpuno suh, pogotovo kada se radi o tamnijim materijalima gdje je teže vidjeti kada je materijal mokar. Zbog toga je korištena termografska kamera. Termografija se danas sve više razvija kod upotrebe u tekstilnoj industriji, u ovome radu korištena je za sigurne rezultate vezane uz sušenje materijala. Kako bi rezultati bili pouzdani, u vremenskim intervalima provjeravano je da li se tkanina osušila. Sušenje tkanine se moglo primijetiti na termografskoj kameri u promjeni temperature. Primjer tome se može primijetiti usporedbom slike 9 i 10. Na slici 9. termalna kamera je usmjerena prema namočenom dijelu tkanine te je vidljivo da temperatura  $24,8^{\circ}\text{C}$ . Dok na slici 10. kamera je usmjerena na podlogu između ispitivanih materijala gdje temperatura iznosi  $28,2^{\circ}\text{C}$ . Na temelju toga dolazi se do dokaza, da voda hladi materijal te da je na području materijala gdje se nalazi voda temperatura niža. Kada ta temperatura dostigne svoj maksimum, ona kreće padati. Što znači da se materijal počinje sušiti, prema tome se može precizno mjeriti vrijeme sušenja materijala. Vremena sušenja se kreću od manje od jednog sata do preko dva sata, naravno to ovisi o već spomenutoj debljini materijala, kao i o gustoći tkanja. Iako bi imalo smisla da će se materijal koji je najbrže upio tekućinu, najbrže i osušiti, prema tablici rezultata je vidljivo da nije tako. Najbrže se osušio materijal koji je imao najmanju prosječnu debljinu, zbog njegove male debljine voda se raširila po materijalu. Uzorak je također imao najveću površinu namočenog dijela. Zbog toga što se materijal „raširio“ osušio se u samo 57 minuta. Dok se materijal s najvećom debljinom sušio preko 2 sata, razlog tome je upravo debljina materijala. Što je materijal deblji trebati će mu više vremena da se osuši, iz razloga što je voda prodrla u unutrašnjost materijala, a materijal se suši

izvana prema unutra. Iako je uzorak izgledao u potpunosti suho već nakon 1 i pol sat, termalnom kamerom je bilo vidljivo da nije suh. Vrijeme sušenja ostalih uzoraka kreće se od 1 do 1 i pol sat. S obzirom da postoje materijali s mnogo bržim vremenom sušenja, poliester se relativno sporo suši, iako naravno postoje materijali s puno dužim vremenom sušenja. No kako je poliester u ovome slučaju namijenjen za sportske aktivnosti njegovo vrijeme sušenja bi trebalo biti duže, iako ne stvara nelagodu pri nošenju. Razlog zašto poliester ne stvara nelagodu iako je mokar, je to što on izvlači vlagu na vanjski dio površine, tj. vlaga koju tijelo proizvodi se ne zadržava na koži, već ju poliester izvlači. S obzirom da je to sintetički materijal, na njegova se svojstva može utjecati kemijskim putem. Neke od prednosti poliesteru su dobra otpornost na habanje, niska apsorpcija prljavštine, jednostavna njega tkanine, i mnoge druge koje se mogu regulirati. Jedna od bitnih sposobnosti poliesteru je očuvanje topline, ranije je navedeno kako materijal koji je namočen ima nižu temperaturu nego suhi dio. Stoga je za nogometaša koji trči i proizvodi velike količine znoja, izrazio važno da njegova tjelesna toplina ostane ujednačena. Kada bi se ta vlaga zadržavala na osobi, stvarala bi dodatno opterećenje i smanjila sposobnosti nogometaša. Ako materijal stvara neugodu pri nošenju, pogotovo pri fizičkim aktivnostima, ljudsko tijelo se automatski odupire tome. Ne na način da će se osoba prestati znojiti, već na način da će nelagoda stvoriti osjećaj nervoze, te smanjiti koncentraciju, i na kraju smanjiti sposobnost sportaša. Dok poliester u mješavini s elastanom daje još veću udobnost, prilagođava se tijelu, no uvijek je u manjem udjelu od poliesteru. Zbog toga što elastan nije dobar materijal za upijanje i prijenos vlage. No danas se sve više radi na recikliranom poliesteru, on je jednako dobar kao ne reciklirani poliester. S obzirom na zagađenje planeta, istraživači su našli način kako iz PET boca proizvesti poliester. Ta nova vrsta poliesteru je postala veoma poznata, jer ljudi su više osviješteni ekološkog stanja planeta, nego što su bili prije. Sve u svemu, zaključno je kako je poliester prikladan materijal za dresove nogometaša, te kako će njegov razvoj pridonijeti i boljoj udobnosti pri nošenju, te očuvanju planeta. Tako je Hrvatska nogometna reprezentacija na svjetskom prvenstvu u Brazilu nosila dresove od recikliranog poliesteru, tvrtka „Nike“ je 2010. godine potrošila oko 2 milijarde plastičnih boca s odlagališta za izradu dresova. Za jedan komplet od hlača, majice i čarapa potrebno je 18 recikliranih plastičnih boca, time se pridonosi zdravlju planeta jednako kao zdravlju sportaša u toj odjeći.<sup>[14]</sup>

#### 4. ZAKLJUČAK

Rezultati govore kako poliester relativno brzo upija vodu, dok mu treba dugo vremena da se u potpunosti osuši. Svi ispitivani rezultati sadrže poliester, ispitivale su se mješavine poliester i elastana, te reciklirani poliester. Vidljivo je da reciklirani poliester vrlo brzo upija, a također mu treba relativno dugo da se osuši. Razlika nije samo u sastavu materijala, bitni parametri su i prosječna debljina i srednja vrijednost plošne mase. Što su ti parametri veći, to duže vremena treba materijalu da se osuši. Naravno, što je veće vrijeme upijanja, to je veća brzina upijanja, i posljedično tome je i veća površina promjera močenja. Osim navedenih parametara, na rezultate utječe način tkanja materijala, dok su neki prozračni, čak i mrežasti s rupicama, neki su gusto protkani što rezultira sporijim upijanjem. Sintetička vlakna kao poliester su preporučljiva za sportaše, unatoč brzini upijanja, oni ne stvaraju neugodu pri nošenju. U kombinaciji s elastanom omogućuju bolju pokretljivost i bolje prianjanje odjeće na tijelo.

## 5. LITERATURA

- [1] Pejnović N., Bubaš M., Krišto D., Mihalina Bolanča M., Škreblić J.: Zaštitna odjeća, Zbornik radova 5. Međunarodni stručno-znanstveni skup Zaštita na radu i zaštita zdravlja, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2014.) 587-592
- [2] D.Rogale, D.Ujević, S.Firšt-Rogale, M.Hrastinski: Procesi proizvodnje odjeće, Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb 2011.
- [3] John Speakman: Infrared thermography : principles and applications, Department of Zoology, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland, UK, 1998.
- [4] Ruben Usamentiaga: Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing, Department of Computer Science and Engineering, University of Oviedo, Spain; Aeronautical Technology Centre (CTA), 2014.
- [5] Jose Ignacio Priego Quesada, editor: Application of Infrared Thermography in Sports Science, Biophysics and Medical Physics Group, Department of Physiology, University of Valencia, Valencia, Spain, 2017.
- [6] M. Dema, C. Turner, H. Sari-Sarraf, E. Hequet, "Machine Vision System for Characterizing Horizontal Wicking and Drying Using an Infrared Camera," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12, no. 2, pp. 493-502, 2016.
- [7] R. Čunko: Umjetni tekstil, Hrvatska tehnička enciklopedija, <https://tehnika.lzmk.hr/umjetna-vlakna/> , 2021.
- [8] Modni magazin, Vrste tkanina, Poliamid i poliester: značajke, sličnosti i razlike, <https://dress-hr.techinfus.com/tkani/vidy/poliamid-i-poliester/>, 2021.
- [9] Clemente Ibarra-Castanedo, Xavier P. V. Maldague; Handbook of Technical Diagnostics, Infrared Thermography, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [10]; Gerald C. Holst: Common sense approach to thermal imaging, British library, Document supply centre; 2000.
- [11] I. Salopek Čubrić, Z. Skenderi, B. Mijović: Primjena termografije i subjektivnog ispitivanja pri evaluaciji udobnosti, Sigurnost, 51(3), (2009) 193-200.
- [12] D. Banarjee, S. K. Chattopadhyay, Suneet Tuli: Indian Journal of Fibre & Textile Research,; Infrared thermography in material research – A review of textile applications; Vol. 38, (2013) 427-437
- [13] Viera Glombiková, Renata Nemcoková, Petra Komarková, Zdenek Kus: Evaluation of liquid moisture transport in textile structures; Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol. 43, (2018) 74-82

[14] S. Boršić, J. Pilipović, i A. Pilipović: "Svjetsko nogometno prvenstvo u Brazilu–polimerni materijali u nogometu." Polimeri: časopis za plastiku i gumu 34.4 (2013) 108-113.